

ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
PHILOSOPHISCH-HISTORISCHE KLASSE
SITZUNGSBERICHTE, 236. BAND, 4. ABHANDLUNG

REGELPROZESSE
IM PSYCHISCHEN GESCHEHEN

VON

HUBERT ROHRACHER

WIRKL. MITGLIED DER
ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 29. APRIL 1960

Gedruckt mit Unterstützung des Vereins der Freunde der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

WIEN 1961

HERMANN BÖHLAUS NACHF. / GRAZ-WIEN-KÖLN
KOMMISSIONSVERLAG
DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

Die Sitzungsberichte der phil.-hist. Klasse sind durch den Kommissionsverlag der Österreichischen
Akademie der Wissenschaften (H. Böhlau Nachf., Wien IX, Frankgasse 4) zu beziehen.

ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
PHILOSOPHISCH-HISTORISCHE KLASSE
SITZUNGSBERICHTE, 236. BAND, 4. ABHANDLUNG

REGELPROZESSE IM PSYCHISCHEN GESCHEHEN

VON

HUBERT ROHRACHER

WIRKL. MITGLIED DER
ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 29. APRIL 1960

Gedruckt mit Unterstützung des Vereins der Freunde der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

WIEN 1961

HERMANN BÖHLAUS NFG. / GRAZ · WIEN · KÖLN
KOMMISSIONSVERLAG
DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

REGELPROZESSE
IM PSYCHISCHEN GESCHEHEN

VON

HERBERT ROHRBAUGH

MIT 12 ABWICHENDE

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

WILHELM

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

ABWICHENDE ABWICHENDE ABWICHENDE

Druck von Adolf Holzhausens Nfg., Universitätsbuchdrucker, Wien

In manchen Bereichen der Biologie wird in letzter Zeit die Auffassung vertreten, daß zur Erklärung physiologischer, an sich längst bekannter Regulationen und Anpassungen technische Regelmodelle verwendet werden können. Die Technik hat von Regeleinrichtungen schon in ihren Anfängen vielfachen Gebrauch gemacht und zu ihrer Untersuchung ein eigenes Teilgebiet entwickelt, das als ‚Regeltechnik‘ bezeichnet wird. Regeleinrichtungen kommen in fast allen größeren Maschinenanlagen vor (der Fliehkraftregler in der Dampfmaschine ist ein vielzitiertes Beispiel); die weitestgehende und vielfältigste Verwendung fanden sie aber bei den elektronischen Rechenmaschinen (sog. ‚künstlichen Gehirnen‘), deren theoretische Untersuchung durch NORBERT WIENER schließlich zur Übertragung des Regelmodells auf biologische Vorgänge führte (im Rahmen der ‚Kybernetik‘). In Wahrheit wurde das Regelprinzip aber schon viel früher (1925) von dem Münchner Physiologen RICHARD WAGNER in ganz konkreter Weise auf die Regulation der Anpassung unserer Muskulatur an die jeweiligen Leistungserfordernisse angewendet, wobei er auch bereits die entscheidenden Komponenten solcher Regelprozesse, nämlich die ‚Rückwirkung‘ auf ein Schaltsystem und die dadurch entstehende ‚Selbsttätigkeit‘ des Regelprozesses, erkannte und darstellte. Das Prinzip solcher Regulationen läßt sich auch zur Darstellung rein *psychischer* Prozesse verwenden, wobei sich die Frage ergibt, ob man es dabei nur mit einem Vergleich oder mit einer echten Erklärung zu tun hat.

Um die Funktionsweise einer selbsttätigen Regelung verständlich zu machen, muß zunächst die rein technische Seite kurz besprochen werden; dies geschieht am besten an einem konkreten Fall, z. B. an der selbsttätigen Regelung der elektrischen Raumheizung.

Grundbegriffe der Regeltechnik

Die einfachste Form der elektrischen Raumheizung besteht darin, daß ein Heizkörper (ein Gitter oder eine Spirale aus Draht, der durch den Strom zum Glühen gebracht wird) an einen Steckkontakt angeschlossen wird. Wird es im Raum zu warm, so zieht man den Steckkontakt heraus, wird es wieder zu kalt, so steckt man ihn wieder hinein. Diese Art der Temperaturregelung ist ein Beispiel von ‚Fremdregelung‘;

der Mensch muß durch eine bestimmte Handlung dafür sorgen, daß es nicht zu warm und nicht zu kalt wird. Moderne elektrische Raumheizgeräte führen diese Regelung ohne Eingreifen des Menschen selbst durch ‚selbsttätige Regelung‘. Dies wird dadurch erreicht, daß in das Heizgerät ein Thermostat eingebaut ist, z. B. ein Bimetallstreifen, der sich bei Änderungen der Temperatur krümmt und dadurch Kontakte schließt oder öffnet oder an einem Widerstand schleift, so daß mehr oder weniger Strom in das Heizgerät fließt. Durch einen Schalter kann der Bimetallstreifen in solcher Weise eingestellt werden, daß durch seine Krümmung bei einer bestimmten Raumtemperatur der Strom vermindert oder ganz abgeschaltet wird; wenn die Raumtemperatur sinkt, so wird durch die entgegengesetzte Krümmung des Bimetalls der Strom wieder eingeschaltet. Die gewünschte Raumtemperatur bezeichnet man als ‚Sollwert‘, die jeweilige tatsächliche Raumtemperatur als ‚Istwert‘ (durch die Regelung soll der Istwert dem Sollwert gleichgehalten werden). Das Gerät, das die Raumtemperatur mißt (der Bimetallstreifen), ist der ‚Meßfühler‘; da der Bimetallstreifen nicht nur mißt, indem er sich in verschiedenem Grade krümmt, sondern überdies durch diese Krümmung auf den Widerstand und dadurch auf die zugeführte Strommenge einwirkt, bildet er zusammen mit diesem Widerstand die eigentliche Regelvorrichtung, das ‚Stellwerk‘. Ein Teil des Stellwerkes (der Widerstand) ist von vornherein (durch die vom Menschen durchgeführte Einstellung) auf eine bestimmte Regelgröße eingestellt (dies ist der ‚Sollwert-Einsteller‘). Das ganze System bezeichnet man als ‚Regelkreis‘; es ist ein geschlossenes System, in welchem die Veränderung der Regelgröße (der Raumtemperatur) auf einen Meßfühler (Bimetall) wirkt, dessen Änderung ein Stellwerk in solcher Weise steuert, daß durch Senkung oder Steigerung der Wärmeerzeugung der Sollwert wieder erreicht wird. Veränderung der Regelgröße (Raumtemperatur) bewirkt Veränderung des Meßfühlers (Bimetall); Veränderung des Meßfühlers bewirkt eine Änderung im Stellwerk (Widerstand), und die Änderung im Stellwerk bewirkt eine Änderung in der Zufuhr von Energie (elektrischer Strom), die ihrerseits die Regelgröße (Raumtemperatur) beeinflusst (indem sie Wärme erzeugt). Man kann diesen Sachverhalt — etwas ungenau — auch so ausdrücken, daß man sagt: Die Raumtemperatur regelt sich selbst, indem sie durch ihre Wirkung auf einen wärmeproduzierenden Faktor je nach der bestehenden Temperatur mehr oder weniger Wärme erzeugen läßt. Es liegt eine ‚Rückwirkung‘ der Temperatur auf ein System vor, das die Temperatur beeinflusst; die Regelgröße, d. h. dasjenige, was geregelt werden soll, ist selbst ein wirkender Faktor im Regelkreis; sie ‚regelt sich selbst‘.

Im skizzierten Beispiel des selbstgeregelten Heizkörpers liegt eine Konstanthaltungs-Regelung vor. Man kann diese Art von Regelkreis in allgemeiner Form einigermaßen scharf in folgender Weise definieren: Eine selbsttätige Konstanthaltungs-Regelung liegt vor, wenn eine von einem physikalischen System abhängige Größe mit Hilfe eines Meßgerätes dadurch konstant gehalten wird, daß jede Abweichung des Meßgerätes vom Sollwert eine entsprechende Änderung der Energiezufuhr (Steigerung oder Senkung) bewirkt. Die ‚Selbsttätigkeit‘ besteht darin, daß die vom System abhängige Größe durch das kontrollierende Meßgerät die Energiezufuhr variieren kann. An diesem Vorgang ist gar nichts Geheimnisvolles oder Rätselhaftes; er wird auch nicht rätselhafter, wenn man behauptet, die Regelgröße ‚wirke auf sich selbst zurück‘ — man muß sich nur darüber im klaren sein, daß die Regelgröße nicht unmittelbar sich selbst beeinflusst, sondern immer nur dadurch, daß sie einen Meßfühler verändert, der seinerseits ein Stellwerk verändert, von dem die Energiezufuhr abhängt.

Außer der beschriebenen Konstanthaltungs-Regelung (oder ‚Festwertregelung‘) gibt es noch kompliziertere Regelprozesse, die aber im Prinzip ebenfalls auf einfachen Teilvorgängen beruhen. So kann ein Regelkreis dafür sorgen, daß sich eine physikalische Größe in bestimmter Weise verändert, wenn eine andere im System vorhandene Größe bestimmte Werte erreicht (‚Folgeregelung‘, z. B. zur Verhütung von Gefahren durch zu hohen Druck in einem Dampfkessel); oder es kann durch Regelung erreicht werden, daß ein physikalischer Zustand in bestimmten Abständen bestimmte Werte annimmt (‚Zeitplanregelung‘, z. B. bei Schmelzvorgängen).

Selbstregelung darf nicht mit ‚Steuerung‘ verwechselt werden. Der Unterschied liegt im wesentlichen darin, daß bei der Steuerung keine Rückwirkung der gesteuerten Größe auf die Energiequelle vorliegt, von der sie (d. h. diese Größe) abhängt. Ein sehr einfaches Beispiel einer Steuerung ist die Uhr, deren Zeiger Kontakte schließt, so daß ein Radio- oder Fernsehgerät zu bestimmten Zeiten eingeschaltet wird. Steuerungen können im allgemeinen ihre Leistung nicht selbst kontrollieren, sie arbeiten ‚blind‘. Obwohl Steuerungen weniger ‚klug‘ sind, weil sie sich nicht an die von ihnen beeinflussten Vorgänge anpassen, finden sie in der modernen Technik weitgehende Verwendung; man kann ganze Arbeitsabläufe durch vorgegebene Programme, die den Maschinen durch Lochkarten oder Tonbänder vermittelt werden, sehr präzise steuern. Die automatisierte Industrie und die Arbeit der Rechenmaschinen ist nur durch genaue Steuerung möglich geworden.

In vielen (wahrscheinlich allen) Regelkreisen spielen Steuerungen

als Teilprozesse eine große Rolle (der Meßfühler ‚steuert‘ das Stellwerk und dadurch die Energiezufuhr).

Einige weitere Begriffe der Regeltechnik sind hier nur kurz zu erwähnen; sie haben für das Folgende nur geringe Bedeutung, weil sie exakte Messungen voraussetzen, wie sie im Bereiche des psychischen Geschehens noch nicht möglich sind. Bei allen Regelkreisen muß die Abweichung des Istwertes vom Sollwert einen bestimmten Grad erreichen, damit der Meßfühler anspricht; der Bereich, innerhalb dessen sich solche Abweichungen (= Differenzen zwischen Ist- und Sollwert) nicht auf den Meßwert auswirken, heißt ‚Unempfindlichkeitsgrad‘. Je kleiner er ist, desto präziser arbeitet der Regelkreis; die ‚Güte‘ der Regelung hängt von der Empfindlichkeit des Meßfühlers, von der Präzision des Stellwerkes und von der Geschwindigkeit des ganzen Regelvorganges ab. Alle diese Eigenschaften müssen in der Technik einer mathematischen Behandlung zugänglich gemacht werden, wozu allerdings, da es sich vielfach um verwickelte Abhängigkeitsbeziehungen handelt, sehr komplizierte Rechnungsarten nötig sind (vor allem deshalb, weil oft Größen verschiedener Art — z. B. elektrischer Strom und Temperatur — zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen).

Biologische Regelprozesse

Die Frage, ob im organischen Geschehen selbsttätige Regelungen vorkommen, hat nur dann einen klaren Sinn, wenn man bei ihrer Beantwortung den Begriff ‚Regelkreis‘ im strengen Sinne verwendet. Diese Forderung muß deshalb besonders betont werden, weil bei manchen Autoren die Tendenz zu bestehen scheint, den Begriff ‚Regelkreis‘ in sehr unpräziser Weise auf organische oder psychische Vorgänge anzuwenden, von denen man beim gegenwärtigen Wissensstand höchstens sagen kann, daß vielleicht irgendeine Regelung bestehe, ohne daß darüber etwas Genaueres bekannt ist. Solange man nicht in der Lage ist, die Regelgröße, den Meßfühler und die Art der Rückwirkung einigermaßen präzise zu bestimmen, sollte man nicht von selbsttätiger Regelung sprechen oder zum mindesten ausdrücklich erklären, daß es sich dabei vorläufig lediglich um eine Hypothese handelt. Mit einer Verwässerung oder gar Symbolisierung des Regelkreisbegriffes ist der Forschung nicht gedient.

Als Erster hat der Physiologe RICHARD WAGNER das Prinzip der selbsttätigen Regelung auf biologische Vorgänge übertragen. Er stellte schon 1925 unter Verwertung der Untersuchungen PAUL HOFFMANNs über Eigenreflexe die Hypothese auf, daß die Anpassung der Muskelkraft an die jeweils geforderte Leistung durch eine Rückwirkung der

jeweils bestehenden Muskelkontraktionen auf die Produktion der nervösen motorischen Erregungen zustandekomme, von denen der Kontraktionsgrad abhängt; der ‚Meßfühler‘ besteht in Rezeptoren, die in den Muskelfasern liegen (den Golgi-Körperchen und den Muskelspindeln). Diese ‚Muskelsinne‘ werden durch Spannung und Dehnung gereizt und senden Erregungen in die Gangliensysteme der Vorderhörner des Rückenmarks, wo diese zentripetalen Erregungen die Entstehung und Produktion der motorischen, die Kontraktion bewirkenden zentrifugalen Erregungen beeinflussen und dadurch die Größe der Muskelkraft bestimmen. Diese Regelung ist selbsttätig im vollen Sinne des Wortes; bei vielen Bewegungen, vor allem den absichtlichen Zweckbewegungen, ist sie in die allgemeineren, willkürlich-motorischen Erregungsvorgänge, die in den vorderen Zentralwindungen zustandekommen, eingeordnet. Wagner hat über die Einzelheiten dieser Rückwirkungen schon 1925 und 1927 sehr genaue Angaben gemacht und den Vorgang als ‚Rückkoppelung‘ bezeichnet. Die Bedeutung dieser neuen Auffassung der muskulären Kraftregelung, die hier nur im Prinzip in sehr allgemeiner Art dargestellt werden konnte, sieht Wagner mit Recht darin, daß auf diese Weise ‚erstmalig die Reflexlehre verlassen und an ihre Stelle das in sich geschlossene Rückkoppelungssystem gesetzt‘ wurde (Wagner 1960, S. 453). ‚Die Reflexlehre befaßte sich mit diesen Vorgängen nur am aufgeschnittenen Rückkoppelungskreis und zog die Rückwirkung des Systems auf sich selbst nicht in Betracht. Vom Standpunkt heute gültiger regeltheoretischer Betrachtungen war der Reflexapparat nur eine offene Informationskette. Das System mit Rückkoppelung stellte aber eine in sich zum Kreis geschlossene Kausalkette dar, und Vorgänge in diesem System wurden hierdurch zur Voraussetzung ihrer selbst. Dies ist ein grundsätzlicher Unterschied gegenüber der Reflexlehre.‘

Seither wurde das Regelkreisprinzip auf viele organische Prozesse angewendet, wobei sowohl die Konstanthaltung eines Zustandes (z. B. Blutdruck) oder die Anpassung an äußere Verhältnisse (z. B. Weite der Pupille) durch selbsttätige Regelung erklärt wurde. Um kurze und präzise Formulierungen zu ermöglichen, ist es zweckmäßig, in die Biologie den Begriff der ‚Konstanten‘ einzuführen. Dabei handelt es sich nicht um Größen, die — wie die ‚Naturkonstanten‘ der Physik (Lichtgeschwindigkeit, Plancksches Wirkungsquantum, Marcks ‚kleinste Länge‘ usw.) — immer gleich bleiben oder nicht überschritten werden, sondern um meßbare Größen, deren Wert nicht geändert werden kann, ohne daß die Ordnung des organischen Geschehens gestört wird. Man kann definieren: Biologische Konstanten sind meßbare Größen, von deren

Gleichbleiben die Ordnung des organischen Geschehens abhängt. Der Ausdruck ‚Ordnung des organischen Geschehens‘ bedeutet dabei nichts anderes als den physiologischen Normalzustand des Organismus (d. h. die Gesundheit des Lebewesens). Die Körpertemperatur der Warmblüter, der Blutdruck, der Zuckergehalt des Blutes, die Wasserstoffionen-Konzentration sind solche Konstanten, für die sich Zahlenwerte — zum mindesten als ‚Spielraumwerte‘ — angeben lassen.

Es ist wahrscheinlich, daß die Konstanthaltung aller dieser biologischen Größen durch Regelkreise erfolgt. Um ein Beispiel anzuführen, sei kurz auf die Konstanthaltung der Körpertemperatur bei den Warmblütern eingegangen, zu deren Erklärung ich eigene Forschungsergebnisse anführen kann.

Das Hauptproblem der Temperaturkonstanz — die Frage, auf welche Weise der Organismus ununterbrochen so viel Wärme produziert, daß die Körpertemperatur gleich bleibt — konnte bisher empirisch nicht gelöst werden. Die darüber aufgestellten Hypothesen gingen von der Tatsache aus, daß die chemischen Prozesse, die zur Freisetzung von Wärme führen, vor allem in der Muskulatur stattfinden; jede Muskelkontraktion erzeugt Wärme (deren Menge für die Einzelzuckung pro Gramm Muskulatur mit 0,006 kleinen Kalorien angegeben wird). Daß die Aktivität der Muskulatur, die beim Menschen etwa 38% des Körpergewichtes ausmacht, die Hauptquelle der Wärmebildung darstellt, steht außer Zweifel; sobald Muskelkontraktionen stattfinden, wird Wärme produziert.

Solange sich der Körper in Bewegung befindet, ist unter normalen Verhältnissen die ausreichende Wärmeproduktion durch Muskelkontraktionen gesichert. Ungeklärt hingegen — und hierin besteht das offene Problem der Temperaturkonstanz — ist die Wärmeproduktion des ruhenden Organismus (beim liegenden Menschen mit entspannter Muskulatur oder im Schlaf und in der Narkose). Aus der Tatsache, daß sich im entspannten normalen Muskel keine elektrische Aktivität nachweisen läßt (Buchthal 1958), hat man geschlossen, daß bei Entspannung keinerlei Muskelkontraktionen stattfinden, daher auch keine Wärme erzeugt werde. Diese Schlußfolgerung ist zweifellos unrichtig. In der Muskulatur der Warmblüter spielen sich während des ganzen Lebens ununterbrochen Kontraktionsvorgänge ab, die niemals — auch nicht im Schlaf oder in der Narkose — aussetzen. Der Nachweis dieser ständig vorhandenen Kontraktionen wurde durch die Untersuchungen über Mikrobewegungen des menschlichen Körpers erbracht, über die ich in früheren Akademievorträgen berichtete (1946, 1952, 1954, 1958); wie ich in diesen Berichten mitgeteilt habe, läßt sich mit genügend empfind-

lichen Geräten zeigen, daß der menschliche Körper in allen seinen Teilen ununterbrochen eine mikroskopisch kleine, rhythmische Bewegung ausführt, deren Frequenz zwischen 7 und 15 Einzelbewegungen pro Sekunde liegt (mit einer sehr starken Häufung im Bereich von 7 bis 11); ihre Größe beträgt bei möglicher Entspannung der Muskulatur 1 bis 5 μ . Es steht außer Zweifel, daß diese rhythmische Mikrobewegung, die ich als ‚Mikrovibration‘ bezeichnete, aus alternierenden Kontraktionen einzelner Muskelfasern entsteht; der entscheidende Beweis hierfür wurde von dem japanischen Pharmakologen Sugano erbracht, der im Tierexperiment zeigen konnte, daß nach Durchschneidung der Nerven, die die Muskulatur einer Extremität versorgen, die Mikrovibration in dieser Extremität fast vollkommen aufhört. Die Mikrovibration ist immer und ununterbrochen vorhanden; nicht nur beim ruhenden, liegenden Menschen im Zustand möglicher Entspannung (also im ‚Tonus‘), sondern auch im Schlaf und in der Narkose. Über diese Tatsachen und über die Methodik wurde in früheren Publikationen ausführlich berichtet (1949, 1959).

Schon allein die Tatsache, daß im menschlichen Körper ununterbrochen Muskelkontraktionen stattfinden, ist für die Theorie der Konstanthaltung der Körpertemperatur von Bedeutung; die von manchen Autoren (z. B. Isenschmid) aufgestellte Hypothese, daß auch in der sogenannten ruhenden Muskulatur Stoffwechselprozesse ablaufen, die Wärme produzieren, ist dadurch bestätigt. Es gibt aber auch direkte, empirisch gesicherte Hinweise auf unmittelbare kausale Zusammenhänge zwischen Mikrovibration und Wärmehaushalt: 1. Bei allen bisher untersuchten Warmblütern (Menschen, Säugetiere, Vögel) konnte die ununterbrochen vorhandene Mikrovibration nachgewiesen werden, hingegen bei keinem der bisher untersuchten Kaltblüter (Frösche, Kröten, Schildkröten, Schlangen, Krokodil); 2. bei Tieren im Winterschlaf zeigen sich zwischen langen vibrationsfreien Strecken nur wenige, sehr kleine Mikrovibrationen, die nach Erwecken aus dem Winterschlaf normale Größe annehmen und kontinuierlich vorhanden sind; 3. bei Fieber steigt die Frequenz der Mikrovibration; 4. bei Wechsel der Außentemperatur steigt die Frequenz der Mikrovibration bei zunehmender Kälte und sinkt mit zunehmender Hitze.

Auf Grund dieser Tatsachen darf man annehmen, daß die Mikrovibration (genauer: die ihr zugrundeliegende ununterbrochene alternierende Kontraktion einzelner Muskelfasern) die Ursache der konstanten Wärmebildung darstellt und daß ihre Frequenz bei der Regulation der Wärmeproduktion eine Rolle spielt. Von entscheidender Bedeutung für diese Hypothese ist die Frage, ob die Wärmemenge, die durch die

Mikrovibration erzeugt wird, zur Erhaltung der Körpertemperatur ausreicht. Leider hat sich bisher keine Möglichkeit finden lassen, diese Frage direkt zu beantworten; d. h. zu berechnen, wieviel Wärme durch die Mikrovibration produziert wird. Wohl aber läßt sich, wie H. SCHAEFER gezeigt hat, eine indirekte Berechnung der Wärmemenge durchführen, die durch die Muskelkontraktionen erzeugt wird (Schaefer 1949), weil die Gesamtwärme, die bei der Zuckung eines Muskels auf einen künstlichen Einzelreiz freigesetzt wird, bekannt ist; sie beträgt pro Gramm Muskulatur 0,006 kleine Kalorien, also bei der Frequenz von 10 pro Sekunde 0,06 und somit pro Tag 5184 kleine Kalorien pro Gramm Muskulatur. Bei einem 70 kg schweren Menschen beträgt das Gewicht der Muskeln etwa 26.600 Gramm (38%). Zur Erzeugung von 2000 großen Kalorien (d. i. der Energieumsatz im Ruhezustand pro Tag) müssen somit 385 Gramm Muskulatur (d. i. 2000/5,184) ständig sich in Kontraktion befinden, um den Umsatz von 2000 Großkalorien zu erzeugen (d. h. nur 1,44% der Gesamtmuskulatur). Ob an den Muskelkontraktionen, die der Mikrovibration zugrundeliegen, tatsächlich immer 1,5% der Gesamtmuskulatur beteiligt sind, läßt sich empirisch nicht entscheiden; wahrscheinlich ist der Prozentanteil viel höher, denn es ist schwer vorstellbar, daß eine ununterbrochen vorhandene Bewegung des ganzen Körpers — die Mikrovibration ist an allen, auch an den nicht-muskulären Körperteilen nachweisbar — durch Muskelprozesse entsteht, an der nicht mehr als 1,5% der Gesamtmuskulatur mitwirken. Es darf als sicher gelten, daß es sich dabei um alternierende Kontraktionen handelt, die bald da, bald dort an der Muskulatur stattfinden, sich also über die gesamte Muskelmasse des Körpers verteilen.

Wendet man diese Rechnung auf Frequenzänderungen an, so ergibt sich, daß durch Steigerung der Mikrovibrations-Frequenz um eine einzige Schwingung pro Sekunde bei einer Muskelbeteiligung von 1,44% der Gesamtmuskulatur (385 g) eine Erhöhung der Wärmeproduktion um 7313 kleine Kalorien bewirkt wird; es führen also schon kleine Frequenzzunahmen zu großen Steigerungen der Wärmeherzeugung. Da nun im Experiment tatsächlich Frequenzerhöhungen bei sinkender Außentemperatur beobachtet wurden und da im Fieber die Frequenz der Mikrovibration ebenfalls zunimmt, darf angenommen werden, daß die Körpertemperatur der Warmblüter durch Frequenzregelung der Mikrovibration konstant gehalten wird. Die Regelgröße (Körpertemperatur) wirkt auf einen „Meßfühler“ (Wärmeregulationszentrum im Gehirn, empfindlich für Änderungen der Bluttemperatur), der seinerseits auf noch unbekannte Weise die Frequenz der Mikrovibration und dadurch die Wärmeproduktion steuert. Es liegt eine echte Rückwirkung der Regel-

größe ‚auf sich selbst‘ vor, weil die Wärmebildung durch ständig stattfindende Kontrollmessungen und die daraus erfolgenden Änderungen der Mikrovibrations-Frequenz selbsttätig konstant gehalten wird. Eine zweite Regeleinrichtung ordnet die Wärmeabgabe durch Blutgefäßkontraktionen, Schweiß etc. (physikalische Wärmeregulation).

Psychische Faktoren bei biologischen Regelprozessen

Die bisher beschriebenen Regelvorgänge sind ‚selbsttätig‘ im vollen Sinne des Wortes; sie laufen ab, ohne daß das Lebewesen etwas dazu beiträgt — meist sogar, ohne daß es etwas davon merkt. Beim Menschen — und wahrscheinlich auch bei den höheren Tieren — gibt es noch andere Regelprozesse, bei denen die ablaufenden Teilvorgänge nicht nur im Erregungsgeschehen des nervösen Systems und in bestimmten Organen stattfinden, sondern sich überdies in bewußten Erlebnissen auswirken. Diese ‚psychophysischen Regelvorgänge‘ laufen zwar ebenfalls selbsttätig ab, d. h. auf bestimmte Informationen von Seiten des ‚Meßfühlers‘ erfolgen automatisch bestimmte organische Reaktionen; aber der Meßfühler selbst ist psychischer Art. Er besteht in Empfindungen oder Wahrnehmungen.

Um die entscheidenden Unterschiede zur rein physiologischen Regelung zu illustrieren, wähle ich als Beispiel die ‚Kaudruckregelung‘, die meines Wissens noch nie unter dem Gesichtspunkt der selbsttätigen Regelung dargestellt wurde. Da sie aber zweifellos als Regelkreis aufgefaßt werden kann und weil sie jedem Menschen aus eigener Erfahrung bekannt ist, bietet sie eine besonders gute Möglichkeit zur Illustration der Problematik von Regelprozessen, in denen außer rein physiologischen Vorgängen auch psychische Erscheinungen vorkommen. Wenn wir beim Essen einen Bissen Brot oder Fleisch in den Mund gebracht haben, beginnen wir ihn durch Kauen zu zerkleinern. Dabei wird der Kaudruck in sehr fein abgestimmter Weise der Härte des Bissens angepaßt; anders formuliert: Die Kontraktionen der einzelnen Muskeln, die an der Kauarbeit beteiligt sind, werden in sehr präziser Art so genau geregelt, daß die Zerkleinerung und Zermahlung der im Munde befindlichen Nahrung auch bei sehr großem Kraftaufwand ohne Beschädigung der Kauwerkzeuge erfolgt. Der Druck wird jeweils auf den gerade zwischen den Zähnen befindlichen Bissen ‚eingestellt‘; die Härte dieses Bissens muß daher vorher den Gangliensystemen, deren Erregungen den Kontraktionsgrad der Kaumuskeln bestimmen (vordere Zentralwindung und nucleus niger), ‚gemeldet‘ worden sein. Die Vermittlung solcher Meldungen ist nur möglich, wenn die Härte des Bissens vorher festgestellt, ‚gemessen‘ wurde. Der Meßfühler des Kauregelkreises muß zuerst in

Aktion treten und das Resultat seiner Untersuchung an das nervöse ‚Stellwerk‘ im Gehirn weitergeben, wo dann der richtige Druck eingestellt und die entsprechenden Erregungen produziert werden, die in die Kaumuskulatur fließen und dort die richtigen Kontraktionen bewirken. Ist der harte Bissen schon etwas zerkleinert und durch Speichel erweicht, so werden neue ‚Härtemessungen‘ durchgeführt und ihre Ergebnisse wiederum ‚zurück gemeldet‘, worauf eine Einstellung auf schwächere Kontraktionen erfolgt.

Worin besteht in diesem Falle der ‚Meßfühler‘? In einem Komplex, der drei Komponenten aufweist: die Druck- und Tastempfindungen aus dem Inneren des Mundes, die Erfahrungen, die man mit solchen Bissen bereits gemacht hat, und schließlich die Kraftempfindungen, die entstehen, wenn man probierend den Bissen zwischen die Zähne nimmt und ihn zu zerdrücken versucht. Der Meßfühler besteht aus Empfindungen und Erfahrungen, kurz gesagt, in der Härte Wahrnehmung — also in einer Wahrnehmung, einem psychischen Vorgang und nicht in einem physiologischen Prozeß. Die technische Bezeichnung ‚Meßfühler‘, die offenbar aus der Analogie zum bewußten Fühlen von Veränderungen gewonnen wurde, scheint hier in ihrem eigentlichen und vollen Wortsinn anwendbar zu sein.

Obwohl in diesem Beispiel alles vorhanden ist, was zu einem Regelkreis gehört — Meßfühler, Stellwerk, Rückmeldung —, ist der Fall problematisch, weil dabei eine psychische Komponente eingeschaltet ist. Kein Zweifel, daß ein geschlossener Erregungskreis vorliegt: Afferente Impulse aus den Sinnesorganen der Kaumuskulatur fließen in das Gehirn und bewirken dort die richtige Einstellung der efferenten Erregungen, die den Kaudruck bestimmen. Es entsteht die Frage, ob die richtige Einstellung auch ohne Empfindung der Härte erfolgen würde oder ob die Empfindung die unerläßliche Voraussetzung für die Regelung bildet. Die naheliegende, aus der Selbstbeobachtung anscheinend zweifelsfrei sich ergebende Antwort lautet: Die Empfindung ist unerläßlich; die Kausalbeziehung zwischen der Hartempfindung und der Einstellung des Kaudruckes wird unmittelbar erlebt. Weil man spürt, daß der Bissen hart ist, stellt man den Kaudruck auf ‚stark‘ ein; würde man die Härte des Bissens nicht empfinden, so käme keine entsprechende Druckregelung zustande — es fehlte dann ja der ‚Meßfühler‘. Die ‚Information‘ über die Konsistenz der im Munde befindlichen Nahrung besteht in der Empfindung seiner Härte. Durch diese Feststellung ist auch schon entschieden, daß hier kein echter Regelkreis vorliegt. Die absichtliche Druckregulierung ist eine Handlungsweise, die man nur als ‚Fremdregelung‘, d. h. als ein willentliches, zielgerichtetes Verhalten zur Erreichung eines bestimm-

ten Zustandes, betrachten kann; sie ist im Prinzip dasselbe wie im Beispiel der elektrischen Raumheizung das Anstecken oder Herausziehen des Steckkontaktes. Ob die Handlung, die zur Regelung nötig ist, eine äußere Verhaltensweise ist, bei der man mit bestimmten Gegenständen manipuliert, oder ob es sich um ein Verhalten handelt, bei welchem man einen Zustand im eigenen Körper absichtlich beeinflusst, bedeutet keinen prinzipiellen Unterschied. Wenn man sich in der Kälte die Hände reibt, um warm zu bekommen, so ist dies genau so eine ‚Fremdregelung‘ der Handtemperatur wie wenn man sich die Handschuhe auszieht, weil es zu heiß geworden ist. Allen diesen Verhaltensweisen fehlt das Merkmal der ‚Automatik‘; sie setzen nicht ‚von selbst‘ ein, durch Rückwirkung ausgelöst, sondern werden in voller Einsicht in die Zusammenhänge absichtlich und bewußt durchgeführt. Aus diesem Grunde ist auch die Kaudruckregelung, soweit sie bewußt kontrolliert wird, kein Regelkreis.

Es gibt im Alltag zahllose Beispiele solcher Art. Jede Handwerksarbeit, ja überhaupt fast jede Handarbeit erfordert eine ständige Regelung von Bewegung und Druck und von Koordination der beiden Hände. Der Violinspieler, der den Auflagedruck der Fingerspitzen und des Bogens auf die Saiten so einstellt, daß immer die richtige Lautstärke entsteht, ist ebenso auf ständige Regelung angewiesen wie der Autofahrer, der mit Fußbewegungen die Gaszufuhr oder den Bremsdruck reguliert. In allen diesen Fällen liegt eine bewußt durchgeführte Regelung vor, bei der die Rückmeldung über den bisher erreichten Erfolg, d. h. über den Grad, in welchem man sich dem ‚Sollwert‘ angenähert hat, durch bewußte Feststellungen erfolgt. Der Unterschied zu den früher beschriebenen biologischen Regelvorgängen liegt darin, daß klarbewußte Willensakte dabei eine Rolle spielen und daß man daher nicht mehr von ‚Selbsttätigkeit‘ des Regelprozesses sprechen kann; es liegt ein willentliches, auf Erreichung eines bestimmten Erfolges gerichtetes Verhalten vor, das nur durch Einsicht in die kausalen Zusammenhänge möglich wird: Der Violinspieler und der Autofahrer kennen den Zweck ihrer Bewegungen, sie führen sie mit klarem Bewußtsein zur Herstellung eines bestimmten Zustandes durch — kurz, es handelt sich um einsichtiges, zweckgerichtetes, absichtliches und bewußt kontrolliertes menschliches Verhalten. Zweifellos liegt eine Regelung vor; aber es ist eine ‚Fremdregelung‘ wie beim Aus- und Einschalten eines Heizkörpers durch das Anstecken oder Herausnehmen des Steckkontaktes. Es ist nicht zu empfehlen, auf solche Vorgänge den Begriff ‚Regelkreis‘ anzuwenden, weil er dadurch seinen klaren Sinn verliert und höchstens noch den Wert eines ungefähren Vergleichs besitzt. Für die korrekte Übertragung des Regelkreismodells auf biologische Prozesse muß man fordern, daß das

Merkmal der Selbsttätigkeit vorliegt, d. h. die automatische Rückwirkung der Regelgröße auf ein Stellwerk, von welchem sie abhängt.

Dieses Merkmal ist bei den beschriebenen Beispielen nicht gegeben, wohl aber bei jenen psychophysischen Vorgängen, die durch oftmalige Wiederholung ‚automatisiert‘ wurden, so daß sie einer bewußten Kontrolle nicht mehr bedürfen. Die Regelung des Kaudrucks wird man, sofern es sich um gewohnte Speisen handelt, ebenso dazu rechnen dürfen wie z. B. das Stiegensteigen, das wir in früher Jugend lernen und dann in solcher Weise beherrschen, daß wir uns während des Betretens der aufeinander folgenden Stufen in Gedanken mit ganz anderen Dingen beschäftigen können. In Wirklichkeit vollziehen sich dabei ziemlich komplizierte Prozesse, bei denen die Höhe der Stufen, die Erhaltung des Gleichgewichts bei aufrechter Körperhaltung, der richtige Wechsel zwischen rechtem und linkem Fuß, das Tempo der Gewichtsverlagerung beim Auftreten in solcher Weise aufeinander abgestimmt werden, daß daraus die richtig abgestimmte Koordination aller dieser Teilfaktoren erfolgt. Alles dies kommt durch Feststellungen der Sinnesorgane, vor allem auch der Muskelsinne, zustande, die in Form von afferenten Erregungen die nervösen Zentren informieren und dadurch dazu führen, daß die jeweils richtigen efferenten Erregungen in die Muskeln fließen.

In solchen Fällen kann man die Situation durch die Formulierung beschreiben, daß ‚sich ein Regelkreis ausgebildet habe‘. Die dabei vor sich gehenden Prozesse laufen ‚von selbst‘ in der richtigen, den jeweiligen Verhältnissen angepaßten Art ab; man führt sie durch ‚wie im Schlaf‘, ohne Nachdenken, ohne kontrollierende Mitwirkung des Bewußtseins. Bewußt sind sie aber doch; man weiß, was man tut, auch wenn man dabei an etwas ganz anderes denkt. Sie sind ‚mitbewußt‘; und dieser geringe Grad von bewußtem Erleben genügt, um ihren störungsfreien und glatten Ablauf zu sichern. So gering dieser Bewußtseinsgrad auch ist — er ist ein psychischer Faktor, bestehend aus Wahrnehmungen und bewußten Einstellungen und Reaktionen. Man muß die automatisierten Bewegungen daher von den rein physiologischen, angeborenen Regelkreisen unterscheiden und sollte sie als ‚automatisierte psychophysische Regelprozesse‘ bezeichnen.

Gibt es überhaupt keine angeborenen psychophysischen Regelkreise? Der Forderung der ‚Selbsttätigkeit‘ scheint nur ein einziger Fall zu genügen: das WEBERSche Gesetz. Dieses Gesetz behauptet bekanntlich, daß ein Reiz um einen bestimmten, relativ gleichbleibenden Betrag größer sein muß als ein vorausgegangener, damit er eine ebenmerkliche Stärkerempfindung auslöst (beim Hören um etwa ein Drittel, beim Sehen um ein Hundertstel); daraus ergibt sich, daß in einer Situation mit schwachen

Reizen die Empfindlichkeit hoch, in einer solchen mit starken Reizen hingegen gering ist. In einem Konzertsaal ist die Hörempfindlichkeit der Zuhörer in der ersten und in der letzten Reihe auf verschiedene Stufen eingestellt (vorne geringere, rückwärts höhere Empfindlichkeit); dadurch bleiben für beide die Unterschiede zwischen Fortissimo und Pianissimo ungefähr gleich. Diese Empfindlichkeitseinstellung unserer Sinnesorgane erfolgt vollkommen automatisch; und ebenso jede Änderung der Einstellung bei Änderung der äußeren Verhältnisse. Kommt man aus dem Konzertsaal in das laute Getriebe der Großstadt, so erfolgt eine Umstellung auf grobe Empfindlichkeit, mit welcher man das Pianissimo der Geigen nicht mehr hören würde. Es liegt hier eine selbsttätige ‚Stufenregelung‘ vor; liegen starke Reize vor, so stellt sich die Empfindlichkeit automatisch auf ‚grob‘ ein, hören die starken Reize auf, so wird auf ‚fein‘ umgeschaltet. Die relative Unterschieds-Empfindlichkeit (die Differenz zwischen dem vorausgegangenen oder dauernd wirkenden Reiz und den übrigen Reizen) bleibt dabei — in mittleren Intensitätsbereichen — konstant.

Man weiß nicht, auf welche Weise diese Regelung zustande kommt. Nach ADRIAN und anderen Autoren steigt mit zunehmender Reizstärke die Frequenz der afferenten nervösen Impulse; vielleicht besteht irgendwo in den sensorischen Gangliensystemen ein Meßfühler für Frequenzunterschiede, der auf ein Schaltwerk wirkt, das die jeweils richtige Empfindlichkeit einstellt. Ob die bewußte Empfindung dabei eine wirkende Komponente oder nur eine Begleiterscheinung darstellt, läßt sich beim gegenwärtigen Wissenstand nicht entscheiden. Es ist somit bei dieser Regelung wohl das Merkmal der Automatik, nicht aber die Beteiligung psychischer Vorgänge sichergestellt.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Echte biologische selbsttätige Regelkreise sind nur solche Vorgänge, bei denen die Regelgröße ohne Einsatz willentlicher bewußter Verhaltensweisen durch Rückwirkung auf die Energiezufuhr, von der sie abhängt, beeinflußt wird. Jede Regelung, bei welcher eine Mitwirkung des Bewußtseins vorliegt, ist eine ‚Fremdregelung‘. Von selbsttätiger Regelung kann man nur dort sprechen, wo sie sich automatisch vollzieht; so bei der Anpassung der Empfindlichkeit der Sinnesorgane an die Reizstärke nach dem Weberschen Gesetz und bis zu einem gewissen Grade bei den ursprünglich gelernten, dann aber durch oftmalige Durchführung automatisierten Verhaltensweisen.

Die Anwendung des Regelkreismodells auf Fälle, in denen absichtliche, bewußte Regelaktionen vorliegen, ist nicht mehr als ein Bild, ein bloßer Vergleich, weil in den Vorgängen, auf die er angewendet wird, sehr viel mehr enthalten ist als die Steuerung eines Regelkreises: Ver-

stehen der Zusammenhänge, Antrieb durch Interesse oder andere Motive, Freude über Erfolg und Ärger über Mißerfolg, Aufmerksamkeit und Ermüdung. Solche Vorgänge lassen sich mit psychologischen Begriffen richtiger und klarer beschreiben als durch den Vergleich mit den Begriffen der Regeltechnik. Dasselbe gilt auch von anderen psychischen Prozessen, die — vor allem von amerikanischen Autoren — als ‚feed-back-Prozesse‘ dargestellt wurden; besonders von solchen, an denen mehrere Personen beteiligt sind. Beispiele dafür finden sich bei Norbert Wiener und bei verschiedenen Lerntheoretikern; ein charakteristisches Paradigma ist von H. J. LEAVITT und R. A. H. MUELLER aufgestellt worden, die in der Tatsache, daß der Lernerfolg eines Schülers größer ist, wenn er Fragen stellen kann, die der Lehrer beantwortet, als wenn er bloß dem Lehrer zuhört, eine Form von ‚feed-back-Wirkung‘ sehen (zit. nach R. R. HILGARD 1956, 376). Die Frage des Schülers steuert die Antwort des Lehrers, diese die nächste Frage des Schülers, so daß eine ‚Rückwirkung‘ der vom Schüler ausgelösten Lehrerantwort auf den Schüler selbst vorliege. Jede Art von Gespräch läßt sich in diesem Sinne mit einem Regelkreis vergleichen, ja überhaupt jede Aktions-Reaktions-Beziehung zwischen zwei Menschen.

Psychische Regelkreise

Wenn das Regelkreismodell auf Vorgänge, bei denen der Mensch mit Bewußtsein und Absicht in einen Prozeß eingreift, um eine Anpassung an äußere Verhältnisse zu erreichen, nicht angewendet werden kann, so erscheint es unwahrscheinlich, daß es rein psychische Regelkreise gibt; d. h. Fälle, in denen der Ablauf der Ergebnisse automatisch in solcher Weise geregelt wird, daß daraus eine biologisch erwünschte Konstanthaltung oder Anpassung entsteht. Entscheidend für solche ‚innerpsychische‘ selbsttätige Regelungen ist das Merkmal des ‚Automatismus‘: Die Regelung muß ohne aktives, willentliches Eingreifen zustandekommen. Wenn es solche Fälle gibt, so müßte dabei das automatische Auftreten von bestimmten Bewußtseinsinhalten klar erlebt werden; man müßte in der Selbstbeobachtung feststellen können, daß diese Inhalte ‚von selbst‘, ohne bewußtes Zutun, in das Bewußtsein treten, und ebenso müßte ihr Zweck oder ihre Wirkung erlebnismäßig festgestellt werden können.

Es ist überraschend, daß es tatsächlich einen Fall gibt, der die geforderten Merkmale aufweist: die Erlebnisse zur Wiederherstellung des Selbstgefühls (im Sinne von Selbstwertbewußtsein) nach einer ‚Frustration‘, d. h. nach einem Versagen in einer Situation, deren Bewältigung man sich zugetraut hätte, oder nach einem Ereignis, bei dem man in

Verlegenheit geriet. Das Selbstbewußtsein im wertenden Sinne ist eine Komponente der menschlichen Persönlichkeit, deren Konstanthaltung von großer Bedeutung für den seelischen Gesamtzustand ist; jede noch so geringfügige Minderung des Selbstgefühls durch eigenes Versagen oder durch das Verhalten anderer Menschen führt zu starken Unlustgefühlen, zu Depression, Ärger, Zorn und schließlich auch zu Unsicherheit und dadurch zu falschen Einschätzungen der eigenen Leistungsfähigkeit. Die hohe Empfindlichkeit, mit der die meisten Menschen auf solche ‚Minderungsinsulte‘ reagieren, beweist, wie wichtig die Konstanthaltung des Selbstgefühls für die Persönlichkeit ist. Kommt es durch verletzendes Verhalten der Mitmenschen, durch herabsetzende Bemerkungen oder direkte Beleidigungen, oder auch durch eigenes Versagen gegenüber einer Situation, die man entgegen der eigenen Erwartung nicht bewältigte, zu solchen Erlebnissen der Selbstwertminderung, so treten automatisch, ganz von selbst, ohne Wille und Absicht charakteristische Erlebnisse auf, deren Aufgabe offenbar darin besteht, die Reduktion des Selbstgefühls zu beseitigen und sein früheres Niveau wiederherzustellen; man kann diese Erlebnisse geradezu als Maßnahmen zur Hebung des gesunkenen Selbstbewußtseins, als Einrichtungen zur Kompensation der Selbstwertminderung bezeichnen. Die häufigsten kompensierenden Erlebniswirkungen einer Frustration sind die ‚Rationalisierung‘, die ‚Aggression‘ und die ‚Ersatzbefriedigung‘. Ein Beispiel: Man ist in einer Gesellschaft durch ungeschicktes Verhalten in eine peinliche Situation geraten (man hat z. B. ein Glas Wein umgestoßen oder konnte eine Denkaufgabe, die jemand stellte und die besonders leicht war, nicht lösen); dann treten fast in jedem Menschen zum mindesten ansatzweise charakteristische Erlebnisse auf: Gedanken, wie ‚ich bin heute schon sehr müde, jedem anderen könnte dies auch passieren‘ (Rationalisierung) oder ‚man hätte mir das Weinglas nicht gerade so hinstellen dürfen‘, ‚diese Denkaufgabe war besonders listig formuliert, man wollte mich offenbar bloßstellen‘ (Aggression) oder ‚mein Benehmen ist trotzdem besser als dasjenige der meisten anderen‘, ‚in Wirklichkeit bin ich geistig den meisten Anwesenden überlegen, obwohl ich diese dumme Aufgabe gerade nicht lösen konnte‘ (Ersatzbefriedigung). Diese Erlebnisse entstehen ganz von selbst, automatisch im vollen Sinne des Wortes; sie werden nicht mit Absicht hervorgerufen, sie werden ohne jedes Zutun der Persönlichkeit bewußt. Ihre Wirkung ist kompensatorischer Art (oder soll es wenigstens sein); die erlittene Minderung des Selbstgefühls soll beseitigt werden.

Obwohl man für diesen Fall nicht genau sagen kann, wie in diesem Fall der ‚Meßfühler‘ und das ‚Schaltwerk‘ funktionieren (sie liegen in

den Gangliensystemen des Gehirns), und obwohl man ebensowenig feststellen kann, woher die Energien stammen, aus denen der Erlebnis-komplex ‚Selbstgefühl‘ entsteht, kann man doch mit Sicherheit behaupten, daß eine psychische Größe (eben das Selbstwertgefühl) beim Auftreten einer Störung durch automatisch einsetzende, bewußt erlebte Maßnahmen ‚geregelt‘ wird; ausgelöst wird diese Regelung durch das Erlebnis der Selbstwertminderung, das auf die psychischen Kräfte, aus denen das Selbstgefühl hervorgeht, irgendwie ‚zurückwirkt‘. Regeltechnisch formuliert: Es liegt eine Größe vor, die konstant gehalten werden soll; tritt eine Minderung auf, so werden durch Rückwirkung auf die psychischen Kräfte Erlebnisabläufe erzeugt, die geeignet sind, die Abweichung vom ‚Sollwert‘ zu beseitigen. Allerdings gilt dies nur für den Fall der Verminderung des Sollwertes; im Falle der Vergrößerung (z. B. bei einem großen, unerwarteten Erfolg) steigt das Selbstbewußtsein, ohne daß Maßnahmen zur Rückführung auf den früheren, niedrigeren Wert einsetzen. Es scheint ein einseitig wirkender psychischer Regelkreis vorzuliegen.

Liegt hier wirklich ein echter Regelkreis vor oder wieder nur ein Vergleich? Um diese Frage mit voller Sicherheit beantworten zu können, müßte man Genaueres über die Einzelheiten der beteiligten Vorgänge wissen. Worin bestehen die Grundlagen des Selbstgefühls, von denen seine Größe abhängt? Liegt bei einem Minderungserlebnis wirklich eine Rückwirkung auf diese Grundlagen vor? Hängen diese Grundlagen wirklich mit den Triebregungen zur Aggression oder Ersatzhandlung oder mit der Tendenz zur Rationalisierung zusammen? Darüber wissen wir nichts Sicheres; aber es besteht kein empirisches Hindernis und kein theoretisches Bedenken, alle diese Fragen hypothetisch zu bejahen und anzunehmen, daß diese Beziehungen tatsächlich bestehen. Zweifelsfrei gegeben ist das Merkmal der Automatik; und ebenso sicher ist es, daß der Zweck der automatisch einsetzenden Erlebnisse in der Beseitigung der Selbstwertreduktion besteht. Menschen mit einiger Selbstkritik sind sich darüber vollkommen klar und durchschauen den trügerischen Charakter der Rationalisierung oder der Aggression; sie sagen sich, daß der Gedanke ‚ich bin heute schon sehr müde‘ nur ein Vorwand ist, um die eigene Ungeschicklichkeit zu entschuldigen, und daß die Vermutung ‚man wollte mich bloßstellen‘ ein ganz unbegründeter Verdacht ist, der dazu dienen soll, die Schuld am eigenen Versagen auf jemand anderen abzuschieben. Trotz dieser Einsicht treten aber diese Erlebnisinhalte auf — auch bei sehr klugen, überlegenen Menschen, die sie allerdings nicht zur Auswirkung kommen lassen und sie sofort nach ihrem Bewußtwerden zurückweisen.

Man kann also die geschilderten Erlebnisabläufe als echte ‚Selbstregelung‘ zur Konstanthaltung des Selbstwertgefühls auffassen. Das Selbstgefühl bringt bei Minderungen sich selbst durch Rückwirkung auf seine Grundlagen mit Hilfe von Kompensationsmaßnahmen, wie Ersatzhandlung, Rationalisierung usw., automatisch wieder auf seinen früheren Stand; es liegt ein ‚innerpsychischer selbsttätiger Regelkreis‘ vor, der gewiß nicht immer zu einem vollen Erfolg führt, jedoch zweifellos die Konstanthaltung des Selbstbewußtseins zum Ziele hat. Es ist überraschend, eine solche selbsttätige Konstanthaltungs-Regelung in einem seelischen Bereich zu finden, der in engster Beziehung zur menschlichen Persönlichkeit steht, also zu einer Region, die man zu den ‚höheren‘ seelisch-geistigen Tatsachen zu zählen pflegt. Biologisch ist es sehr zweckmäßig, daß gerade die empfindlichste Erlebnisregion der Persönlichkeit — die Einschätzung des eigenen Wertes — durch ein automatisch einsetzendes und funktionierendes Regelsystem geschützt ist, so daß bei einer Minderung sofort Kompensationsmaßnahmen eingeleitet werden, die das Selbstgefühl dem ‚Sollwert‘ wieder nahe bringen. In Wahrheit besteht nicht der geringste Anlaß, diesen Regelkreisprozeß als eine ‚höhere‘ seelische Erscheinung zu betrachten; er ist eine primitive Einrichtung, die auf dem Wege der Selbsttäuschung oder des unbegründeten Angriffs zu ersetzen sucht, was man durch eigenes Versagen oder durch äußere Ereignisse verloren hat.

Für den Menschen, der den täuschenden Charakter dieser psychischen Vorgänge durchschaut (trotzdem treten sie auch weiterhin bei ihm auf), sind sie biologisch wertlos. Ihre Wirkung bleibt aus; er weiß, daß sein eigenes Verhalten oder äußere Umstände, an denen niemand schuld ist, zu der ‚Frustration‘ geführt haben. Sie sind fast schon atavistische Einrichtungen wie die Schweißabsonderung in der Angst oder das Haaresträuben im Schreck — Maßnahmen, die ursprünglich den Zweck hatten, einen Feind abzuwehren.

Es gibt noch ein zweites Beispiel einer selbsttätigen Regelung im psychischen Geschehen, das aber bereits physiologische Komponenten enthält: die Regelung des ‚psychischen Gleichgewichts‘ durch automatische Spannungsreduktion. Das Hilfsmittel, das dabei eingesetzt wird, ist der Tränenfluß, das Weinen. Das Weinen ist eine spezifisch menschliche vegetative Reaktion, es ist aber unspezifisch in seinem Auftreten: Nicht nur der Zornige und Geängstigte vergießt Tränen, sondern auch der Traurige, der Gerührte und, was besonders merkwürdig anmutet, der Glückliche. Bei einer starken freudigen Erregung sieht man auch bei sehr beherrschten Menschen oft feuchte Augen. Das Weinen ist somit eine unspezifische Reaktion, die bei ganz verschiedenen Anlässen auf-

tritt. Man kann darin vielleicht einen Hinweis auf den biologischen Sinn des Weinens sehen: Der Tränenfluß tritt immer dann auf, wenn eine starke Erregung und die daraus entstehende Spannung auf andere Weise keine Lösung findet. Der Sinn des Weinens wäre demnach in der Ableitung der gestauten Energien zu suchen; dadurch, daß ein Strom von Wasser aus den Augen bricht, die Tränendrüsen also intensiv arbeiten und dadurch die vegetative Erregung aufbrauchen, löst sich die Spannung; und rasch wird das Bewußtsein klarer, das Denken geordneter, man fühlt sich matt, aber freier. Bei heftigen Erregungen werden vom Hirnstamm noch weitere Maßnahmen zur Erregungsableitung eingeleitet: Der ganze Körper beginnt zu beben, die Zwerchfelmuskulatur gerät in stoßartige Kontraktion und bringt dadurch das Schluchzen hervor, die Arme und der Oberkörper werden von der Erregung geradezu geschüttelt — alles Prozesse, die viel nervöse Energie verbrauchen und dadurch die gestaute Energie beseitigen.

Regeltheoretisch liegt hier eine ‚Folgeregelung‘ mit Hilfe einer Ventilsteuerung vor (s. S. 5). Ein biologischer Prozeß — die Tränensekretion — wird automatisch ausgelöst, wenn ein anderer Vorgang — die psychische Spannung — bestimmte Werte erreicht; dadurch wird ein biologisch ungünstiger Zustand — die gestaute Erregung mit ihren Wirkungen auf das Denken und Verhalten — beseitigt oder wenigstens gemildert. Man hat es im Prinzip mit demselben Regelprozeß zu tun, der bei jedem Dampfkessel dafür sorgt, daß der Druck bei Erreichen einer gefährlichen Höhe automatisch durch Ableitung nach außen reduziert wird. Die Frage, ob man in der automatischen Einschaltung des spannungsreduzierenden Tränenflusses einen echten Regelkreis zu sehen habe, ist theoretisch mit voller Sicherheit nicht beantwortbar; man weiß nicht genau genug, ob die aufgestauten nervösen Erregungen im Gehirn wirklich auf ihre eigenen Energiequellen zurückwirken. Man kann die Hypothese vertreten, daß die übermäßige physiologische Erregungsproduktion in bestimmten Gangliensystemen, die der psychischen Erregung zugrundeliegt, zu einer so starken ‚Aufladung‘ führt, daß ein Überspringen der nervösen Energien auf die Zentren stattfindet, von denen die Tränensekretion und die motorischen Begleiterscheinungen des Weinens ausgelöst werden. Automatik und Beeinflussung einer biologisch wichtigen Größe — des ‚seelischen Gleichgewichtes‘ — sind gegeben; man darf daher zum mindesten theoretisch von einer Selbstregelung der psychischen Durchschnittsspannung sprechen.

Die geschilderten Beispiele zeigen, worin der Wert des Regelmodells für die Psychologie liegt: Es läßt Zusammenhänge klarer hervortreten und stellt den biologischen Sinn und die Funktionsweise der beteiligten

Prozesse schärfer heraus. Regelprozesse sind sicher ein wichtiger Faktor bei der Herstellung und Aufrechterhaltung der Ordnung des seelisch-geistigen Geschehens; sie bilden in Bereichen, in denen es auf Konstanthaltungen oder auf Beseitigung von Störungen ankommt, einen automatisch einsetzenden wirksamen Schutz von biologisch ungünstigen, psychisch belastenden Zuständen. Wissenschaftlich wertvoll ist die Übertragung des Regelmodells auf psychische und psychophysische Prozesse aber nur dann, wenn dabei der technische Begriff 'selbsttätiger Regelkreis' im strengen Sinne gefaßt und nicht nur vergleichsweise verwendet wird.

Literatur

Adrian, E. D.: J. Physiol. 75, 26 (1932). — Dueroeq, A.: Die Entdeckung der Kybernetik. Frankfurt a. M. 1959. — Hilgard, E. R.: Theories of Learning. 2. Aufl., New York 1956. — Mittelstaedt, H.: Regelungsvorgänge in der Biologie. München 1956. — Rohracher, H.: Psychologische Regelprobleme. Ztschr. f. exp. u. angew. Psychol. VI, 95 (1959). — Die Ordnung im seelischen Geschehen. Ber. 22. Kong. d. D. Ges. f. Psychol. 1959. — Wagner, R.: Z. Biol. 83 (1925), 59; 83 (1925), 129; 86 (1927), 367, 397; Probleme und Beispiele biologischer Regelung (Stuttgart 1954), Z. Biol. 109 (1957), 367; Fortschr. d. Med. 75 (1957), 668. — Wiener, N.: Cybernetics. New York 1948.

